

課題番号 : F-17-IT-0009
 利用形態 : 技術代行
 利用課題名(日本語) : InP 基板上的導波路光アイソレータ
 Program Title (English) : Integrable Waveguide Optical Isolators on InP substrate
 利用者名(日本語) : 水島裕亮, 荒雄也, 駒込泰輝, 清水大雅
 Username (English) : H. Mizushima, Y. Ara, H. Komagome, and H. Shimizu
 所属名(日本語) : 東京農工大学 工学府 電気電子工学専攻
 Affiliation (English) : Tokyo University of Agriculture and Technology
 キーワード/Keyword : 光アイソレータ、半導体レーザー、光集積回路、有機金属気相成長装置、成膜・膜堆積

1. 概要(Summary)

光アイソレータは光の伝搬方向を一方向に限定し、半導体レーザー(LD)への反射戻り光をカットし、安定動作させるのに必要不可欠な素子である。半導体光導波路の一部に強磁性金属を製膜し横磁気カー効果による非相反損失を利用した半導体光アイソレータ[1]は LD との一体集積可能である他、リングレーザの共振器の一部に集積し、発振方向を一方向に限定し外部信号光による注入同期と発振状態の維持を利用した光メモリ動作が期待できる等、様々な応用が期待できる。多くの LD は TE モードで発振するため、TE モードで動作する半導体光アイソレータが望まれ、かつ、① LD と同等のサイズ(~300 μm)であること、②高い消光比と低伝搬損失を両立(高い性能指数)することが求められる。これまでリングレーザの一方向発振化には分岐比 8:2 のとき、0.225 ~ 0.6dB の消光比が必要であることを報告しており[2]、これを実現すべく、高い性能指数と大きな消光比を実現する構造を設計し、試作した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

有機金属気相成長装置

【実験方法】

Fig. 1 に本研究で想定した TE モード半導体導波路光アイソレータの断面図を示す。InP 系ハイメサ導波路の側面に Al_2O_3 バッファ層(膜厚 $d_{\text{Al}_2\text{O}_3}$)を介して、強磁性金属 Fe 層(d_{Fe})と、高導電率の Au 層(d_{Au})を製膜した構造である。Fe を Fig. 1 矢印の方向に磁化させることで TE モード光に対して光アイソレータ動作を実現する。Fe 層の外側に Au 層を配置し、低伝搬損失を実現し、高い消光比と性能指数の両立[3]を目指した。

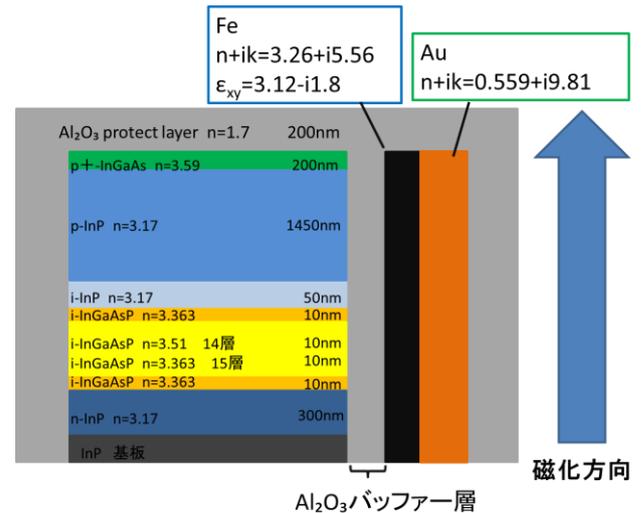


Fig. 1 A schematic cross-sectional image of a TE mode semiconductor waveguide optical isolator.

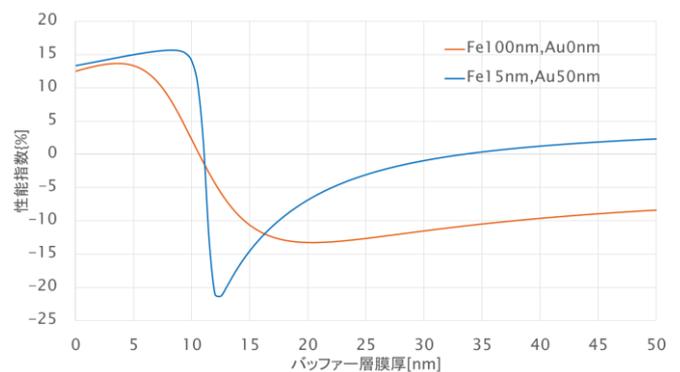


Fig. 2 Calculated magneto-optic figure of merit for TE mode semiconductor waveguide optical isolators ($d_{\text{Fe}}, d_{\text{Au}} = (100 \text{ nm}, 0 \text{ nm}), (15 \text{ nm}, 50 \text{ nm})$).

1) ($d_{\text{Fe}}, d_{\text{Au}} = (100 \text{ nm}, 0 \text{ nm})$), 2) ($d_{\text{Fe}}, d_{\text{Au}} = (15 \text{ nm}, 50 \text{ nm})$)の2つの場合について $d_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ を変化させて前進光と後退光の伝搬損失を求めることで消光比を算出した。消光比と前進光伝搬損失の比で性能指数を定義し、高い消光比と性能指数を両立する、すなわち短い素子長にてより大きな消光比を実現するための構造を探索した。計算には等価屈折率法を用いた。

我々は過去に膜厚 $d_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 20 \sim 30 \text{ nm}$ の Al_2O_3 バッ

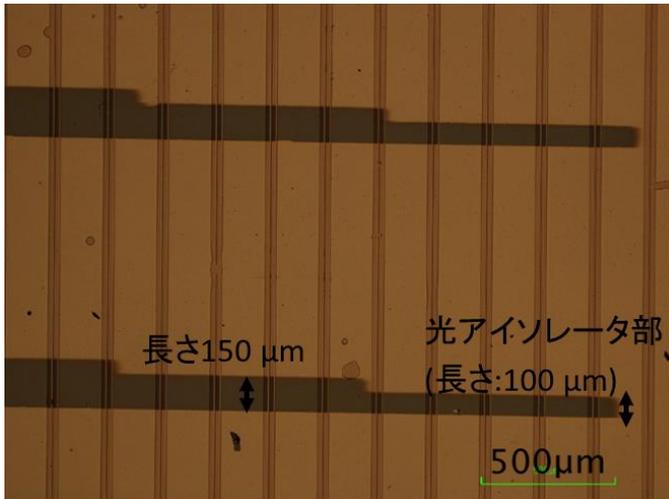


Fig. 3 An optical microscope image of TE-mode semiconductor waveguide optical isolators on InP substrate.

ァー層を介して膜厚 100 nm の強磁性金属(Fe, FeCo)を製膜した TE モード半導体光アイソレータを作製し消光比 3~10 dB/mm、伝搬損失 32~84 dB/mm、性能指数 10~12%を得た[4]。Al₂O₃ バッファ層膜厚を $d_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 6 \text{ nm}$ と薄くした場合、消光比 19 dB/mm、伝搬損失 150 dB/mm、性能指数 13%となり短い素子長にて大きな消光比、性能指数を実現できることがわかった。 $d_{\text{Au}} = 0 \text{ nm}$ のとき Fe 層膜厚 d_{Fe} を増やすに従って高い性能指数と大きな消光比が得られた。2) ($d_{\text{Fe}}, d_{\text{Au}}$) = (15 nm, 50 nm) の場合の計算結果を Fig. 2 に示す。Al₂O₃ バッファ層 $d_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 10 \text{ nm}$ のとき、消光比 45 dB/mm、伝搬損失 319 dB/mm、性能指数 14%となった。以上より Al₂O₃ バッファ層を薄くすることが性能指数を微増させつつ、高い消光比を実現できること、および、強磁性金属層を薄くした上で、導電率の高い Au 層を導入することの性能指数への影響を明らかにした。全体として従来より短い素子長にて性能指数を維持しつつ高い消光比を実現することができ、素子の小型化が期待できる。

上記設計に基づき、InP 基板上に有機金属気相成長装置を用いて半導体レーザ構造を製膜し、反応性イオンエッチングにより光導波路構造に加工した。光導波路の側壁に Al₂O₃ バッファ層と強磁性金属 Fe を電子ビーム蒸着法により製膜した。伝搬損失や消光比と強磁性金属製膜部の長さとの関連を明らかにするため、蒸着時にメタルマスクを用いて強磁性金属製膜部

の長さを段階的に変化させた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 3 に作製した素子の光学顕微鏡写真を示す。現在、伝搬損失や消光比を評価中である。

4. その他・特記事項(Others)

有機金属気相成長装置による InP 基板上の 1.5 μm 帯半導体レーザ構造の作製では高い光利得を実現するための InGaAs 歪量子井戸活性層の作製、適切な量子井戸の層数についてアドバイスいただきました。アドバイスをいただきました東京工業大学の西山伸彦准教授に謝意を表します。

“参考文献”

- [1] H. Shimizu et al., Jpn. J. Appl. Phys., 53 072701 (2014).
- [2] 坂東敬広 他、電子情報通信学会 OPE2014 年 4 月期研究会
- [3] H. Shimizu and T. Shimodaira., Jpn. J. Appl. Phys., 57, 04FN07 (2018).
- [4] 八木友飛 他、2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 荒雄也, 水島裕亮, 山下翼, 清水大雅 「TE モード半導体光アイソレータにおける性能指数の最適化」, 2017 年秋季 第 78 回応用物理学会学術講演会 6p-C14-19, 平成 29 年 9 月 6 日.

6. 関連特許(Patent)

なし